

TRACÉS

Matériaux biosourcés

FIBRA Award 2019 | Pittet artisans

Tour Roche 2, Bâle (BS)

sia

Radiographie
d'une filière #5
BIOSOURCÉS



La face cachée de la Tour 2 du Groupe Roche à Bâle

On envisage rarement un bâtiment sous l'angle de ses fondations. C'est d'autant plus vrai lorsqu'il est question du plus haut édifice de Suisse. Elles constituent pourtant un véritable projet dans le projet, dont les défis ne relèvent pas uniquement de la géotechnique. Ils concernent bien davantage le voisinage avec des bâtiments et des installations sensibles du groupe pharmaceutique bâlois, où tout dommage ou trouble au bon fonctionnement est susceptible d'entraîner de lourdes conséquences financières.

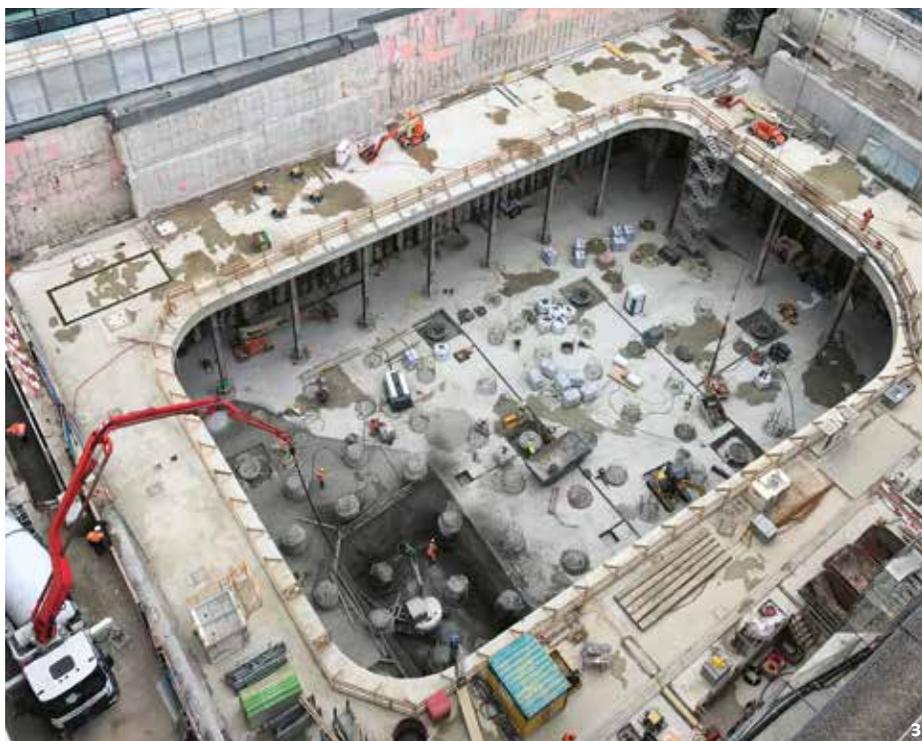
Le Groupe Roche poursuit l'ambitieux projet de développement et de densification de son siège bâlois. Il investit au total près de trois milliards de francs suisses dans le développement de son infrastructure scientifique et administrative. Parmi les différents projets, certains redessinent le paysage urbain de la cité rhénane, comme les « tours jumelles », à savoir la Roche Tower (ci-après Tour 1), haute de 178 m et inaugurée en 2015, qui abrite 2000 postes de travail, et la Tour 2, un immeuble de bureaux en cours de construction qui culminera à 205 m. Ce dernier comprendra 50 étages et trois sous-sols et pourra accueillir jusqu'à 2400 collaborateurs dès 2022. Le volume d'investissement prévu s'élève à 550 millions de francs suisses. Avec une charge totale caractéristique d'environ 180 000 tonnes, cette tour sera plus lourde que sa jumelle mais son emprise inférieure. La construction des trois sous-sols a nécessité une fouille de 20 m de profondeur comportant des surprofondeurs allant jusqu'à 22,5 m.

Les exigences environnementales qui se sont présentées ont été de multiples natures. Il a fallu, d'une part, réaliser un blindage de fouille étanche – sous la forme d'une paroi de pieux sécants –, le radier de fondation se situant au-dessous du niveau de la nappe phréatique. D'autre part, le secteur est situé dans une zone de protection des eaux, ce qui a rendu obligatoire le passage des eaux souterraines à travers les sous-sols du nouveau bâtiment au moyen de





2



3

1-3 Roche Towers : travaux sur les fondations de la Tour 2, au pied de la Tour 1. On distingue la dalle-buton évidée, soutenue par les 27 piliers primaires métalliques.

4 Plan des travaux de l'enceinte de fouille

5 Extrait du modèle BIM

6 Extrait du modèle aux éléments finis de la fouille et de la fondation combinée pieux-radier de la Tour 2 avec la fouille du Centre de recherche pRED voisin.

puits filtrants horizontaux. Il a également fallu tenir compte des effets sismiques, qui sont décisifs dans la région bâloise, tant pour la fondation que pour la fouille. Outre les défis techniques et environnementaux, il convenait également de maintenir les coûts à un niveau raisonnable tout en observant un calendrier serré.

À l'ouest de la fouille, la première priorité était de minimiser le plus possible les tassements et vibrations sur le centre de biotechnologie voisin (Bâtiment 95) réputé sensible, où tout dysfonctionnement causerait des dommages indirects considérables. Par ailleurs, on ne voulait pas risquer de détruire les tirants mis en place en effectuant des forages ultérieurs qui devaient partir de

l'ouest, passer sous le Bâtiment 95 pour s'acheminer vers la fouille de la Tour 2 afin d'assurer l'ancrage du soutènement de fouille du nouveau Centre de recherche pRed, également en cours de construction. Sur le côté sud de la fouille, la présence des puits filtrants horizontaux de la Tour 1 exigeait le respect d'un écart minimum par rapport aux tirants de la Tour 2 pour éviter de les endommager et de les rendre inopérants. Au nord, il s'est révélé impossible de réaliser une fouille ancrée compte tenu du bâti existant aux abords immédiats de celle-ci.

Dalle-buton évidée

De ces contraintes est ressortie une solution prévoyant un butonnage horizontal au

moyen d'une dalle en béton évidée dans sa partie centrale, à mi-hauteur de fouille. Ce type de dalle-buton, associée à une paroi de pieux forés renforcée – au moyen de profilés métalliques insérés dans les pieux primaires –, a permis de faire l'économie d'ancrages, tant au nord qu'à l'ouest. Côté sud, un rang d'ancrages a été disposé au-dessus de la dalle-buton afin de soulager la paroi de pieux au vu de la différence de hauteur de plus de 8 m qui existait entre la dalle-buton et le terrain. À l'est, il a fallu prévoir, pour des raisons statiques, un ancrage double pour le blindage à parois décalées alliant paroi de pieux sécants et paroi berlinoise. Au total, 152 tirants ont été exécutés pour réaliser cette fouille (contre environ 490^{1,2}

Contexte géotechnique

Le chantier de construction de la Tour 2 se trouve dans la vallée du Rhin. À cet endroit, le fleuve s'est taillé un chemin dans le sous-sol molassique et a déposé des alluvions de graviers sableux de haute compacité («Niederterrassenschotter, NTS»). Ces graviers se caractérisent généralement par une bonne portance et une faible sensibilité aux tassements. Cette couche présente par endroits des bancs de graviers cimentés atteignant 2 m d'épaisseur. Sous les graviers, à environ 17 m de profondeur, on rencontre un sous-sol molassique tertiaire composé de marne coquillière limono-argileuse («Cyrenenmergel») et de molasse alsacienne sableuse. En général, la molasse constitue un terrain de fondation à bonne portance.

Les eaux souterraines circulent dans les graviers et ne sont perceptibles dans le sous-sol molassique que sous forme de pression interstitielle. Le niveau de la nappe phréatique varie en fonction de la cote du Rhin et se situe en période de hautes eaux 10,2 m au-dessous du niveau du terrain, c'est-à-dire 12,3 m au-dessus du point le plus bas de la fouille.



7 Visualisation des constructions planifiées par le Groupe Roche sur son site de Bâle (TOUTES LES ILLUSTRATIONS PROVIENNENT DE GRUNER SA.)

pour la fouille de la Tour 1, qui n'offrait pas une configuration géométrique adéquate pour une dalle-buton évidée).

Préalablement aux travaux d'excavation, une série de 13 tirants d'essai verticaux ont été mis en œuvre, en partie dotés d'une chaussette géotextile, dans les différentes couches du terrain de fondation, avant de procéder à des essais. Au cours de ces derniers, les résistances ultimes externes suivantes ont pu être atteintes pour quatre configurations différentes: $R_{a,k} = 1500$ kN dans les graviers sableux (NTS, lire encadré ci-dessus) avec chaussette, $R_{a,k} = 1800$ kN dans les NTS sans chaussette ainsi que dans les deux couches de molasse. Ces valeurs ont été confirmées par les épreuves de mise en tension réalisées tant pour la fouille de la Tour 1 que pour le futur Centre de recherche pRED.

Pour planifier la fouille, on a délibérément admis des résistances ultimes plus faibles par tirant (NTS/NTS avec chaussette/MC: $R_{a,k} = 1200$ kN/1000 kN/1200 kN), pour éviter, dans la mesure du possible, de prendre du retard dans le calendrier en cas de défaillance éventuelle. Malgré la réussite des essais d'ancrage, quelques tirants d'ouvrage isolés n'ont pas résisté à la force d'essai requise par la statique.

Au sud, il a été possible de remédier rapidement à ce problème en changeant de type de chaussette en géotextile. Côté est, au contraire, les multiples variantes d'injection primaires et secondaires avec différents paramètres, quantités et pression d'injection et types de suspensions n'ont pas permis de tirer de conclusions sur la cause probable d'une perte de 20 à 60% de la résistance ultime externe du tirant. Pour satisfaire les exigences du calcul statique concernant le blindage de fouille côté est, il a fallu, par conséquent, poser des tirants supplémentaires. La méthode observationnelle a permis de minimiser le nombre de tirants supplémentaires requis en incorporant les résultats positifs issus de la surveillance à la planification par rétro-analyse.

La Tour 2, tout comme la Tour 1, reposera sur une fondation combinée pieux/radier. Selon ce concept de structure, une partie des charges verticales sera transmise par les pieux de fondation et l'autre partie par les contraintes au sol entre le radier et le sol qui le supporte.

Couplage de modélisations

Le dimensionnement de la fondation mixte combinée a été effectué par le couplage de deux modélisations par élé-

ments finis au cours d'un processus itératif avec l'équipe chargée de la conception de structures porteuses pour la tour. Grâce aux résultats des essais de chargement statiques et dynamiques³ menés préalablement aux travaux de fondation de la Tour 1 et au monitoring de la fondation combinée (tassements mesurés de 2 à 3 cm), de précieuses données de mesure⁴ ont permis d'effectuer une rétro-analyse des paramètres du sol, d'affiner et de calibrer la modélisation par éléments finis. Cette méthode a permis de rapprocher la simulation au plus près des conditions réelles du terrain de fondation et de prévoir avec fiabilité les déformations auxquelles il fallait s'attendre dans le sous-sol, ainsi que les effets possibles sur la Tour 2 et ses environs. On a pu ainsi réaliser une configuration optimisée en termes de coûts et de délais pour la fondation combinée et le maître d'ouvrage a été à même de tirer parti du résultat des investissements qu'il avait effectués sur la Tour 1. Au total, 104 pieux de 1,5 m de diamètre et d'une longueur effective de 18 à 28 m ont été exécutés dans la marne coquillière. Le cas de charge sismique a été en général le facteur déterminant pour définir le nombre et la longueur des pieux.

Pour réaliser les travaux d'excavation partiellement en taupe, il a fallu tout d'abord exécuter l'enceinte en pieux forés ainsi que 27 piliers primaires métalliques fondés à l'intérieur de pieux de gros diamètre, lesquels ont servi par la suite d'appuis à la dalle-buton. Comme ces piliers primaires devaient également servir de piliers mixtes acier-béton pour la structure définitive de la tour, il était primordial de respecter de strictes tolérances d'exécution pour les pieux et les piliers primaires. En appliquant des cadres d'ajustage couplés à des mesures géodésiques complexes lors de la mise en place des piliers primaires, des écarts minimes de 0,0 à 0,8% (en moyenne 0,3%) de déviation par rapport à la verticale ont pu être atteints.

Surveillance des déformations

Compte tenu de la stricte limitation des déformations exigée, un large dispositif de surveillance avec cellules de mesure, inclinomètres, points de mesure de mesure, capteurs d'inclinaison et capteurs de vibrations a été appliqué. Corroborant le pronostic et les calculs, le concept de fouille mis en œuvre s'est avéré très robuste et peu propice aux déformations: ces dernières n'ont

pas dépassé un centimètre, tant dans l'enceinte de la fouille que dans les constructions voisines.

D'après le calendrier des travaux, l'ossature de la tour devrait atteindre sa hauteur définitive vers la fin de l'année 2020. Le dispositif mis en place pour surveiller la fondation mixte combinée fournira de précieux renseignements pour la planification d'autres ouvrages de grande hauteur en sous-sol molassique.

Laurent Pitteloud, ingénieur civil EPF, chef de projet; Ralf Hebecker, ingénieur civil FH, direction des travaux; Jörg Meier, Dr ès sciences, ingénieur civil TU, spécialiste modélisation numérique et Iris Lobecke, ingénieure civile TU, cheffe de projet conception. Tous travaillent chez Gruner SA à Bâle.

- 1 L. Pitteloud, «Baugrube und Foundation des höchsten Hauses der Schweiz (Roche Bau 1)», *Herbsttagung der Geotechnik Schweiz*, Basel, 2012.
- 2 L. Pitteloud, «Basels neues Hochhaus auf festem Grund», *TEC 21, espazium*, Zurich, 2014.
- 3 L. Pitteloud, «Pfahlbemessung nach SIA 267 – Erfahrungen aus der Praxis», *Frühjahrstagung der Geotechnik Schweiz*, Olten, 2012.
- 4 L. Pitteloud, J. Meier, «High-Frequency Monitoring Results of a Piled Raft Foundation under Wind Loading», *ICSMGE 2018: 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 20th International Research Conference*, London, 2018.

Intervenants

Maître d'ouvrage: F. Hoffmann-La Roche, Bâle

Architectes: Herzog & de Meuron, Bâle
Planification générale: Drees & Sommer, Bâle

Gestion de la construction: omniCon, Bâle

Planification fouille, fondation, environnement et monitoring: Gruner SA, Bâle
Direction des travaux (fouille, fondation): Gruner SA mandaté par omniCon

Démantèlement: Gruner Lüem, Bâle

Géologie: Pfirter, Nyfelder+Partner, MuttENZ

Conception de structures porteuses: WH-P Ingenieure, Bâle

Logistique de chantier, mensurations: Rapp, Bâle

Planification de l'installation électrique: Selmoni, Bâle

Génie civil / travaux spéciaux: Implenia, Bauer, Eberhard

Gros-œuvre: Marti SA

Informations supplémentaires sur le projet

gruner.ch/lnk/geolit-fr
gruner.ch/lnk/georef-fr

KWC DOMO | 6.0

La robinetterie la plus populaire de Suisse sous une nouvelle forme.